

COMUNE DI PALAU

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA -
COMPONENTE 1 -ISTRUZIONE E RICERCA - INVESTIMENTO 3.3: "PIANO DI MESSA IN
SICUREZZA E RIQUALIFICAZIONE DELLE SCUOLE"

OGGETTO:

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA
SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO DI VIA DEL FARO
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA

RELAZIONE DIMENSIONAMENTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO

TAVOLA

ALLEGATO
E

SCALA

COMMITTENTE

Comune di Palau
Piazza Popoli d'Europa, 1
07020 Palau

PROGETTISTA

dott. ing. Andrea Pippia
via G. Mazzini, 9
07026 Olbia
tel/fax 0789 26846

RESPONSABILE SETTORE TECNICO
dott. Giovanni Tiveddu

R.U.P.
dott. Giovanni Tiveddu

DATA Febbraio 2022

AGG.

FILE Scuola_via_del_faro_prog_definitivo_R2_def.dwg

ARCHIVIO IMP.2021.016

Relazione di calcolo progetto fotovoltaico

Centrale/i	
Denominazione:	Nuova centrale termica
Sottosistema di generazione solare fotovoltaico	
Denominazione:	Nuovo impianto fotovoltaico

1 Norme di riferimento

UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici
UNI/TS 11300-4	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per il riscaldamento di ambienti e la preparazione di acqua calda sanitaria
UNI/TS 11300-5	Prestazioni energetiche degli edifici - Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili
UNI/TR 11328-1	Energia solare - Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia - Parte 1: Valutazione dell'energia raggiante ricevuta
UNI EN 15316-4-6	Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 4-6: Sistemi di generazione del calore, sistemi fotovoltaici

2. Legende

2.1 Legenda simboli

SIMBOLO/FORMULA	U.M.	DESCRIZIONE
z	[m]	Altitudine s.l.m
φ	[°]	Latitudine
δ	[°]	Gradiente verticale di temperatura
$\theta_{e,avg}$	[°C]	Temperatura giornaliera media mensile dell'aria esterna
H_h	[MJ/m ²]	Irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale
ϑ	-	Riflettanza delle superfici
$W_{pv,tot}$	[kW _p]	Potenza di picco complessiva dell'impianto
f_p	-	Fattore di conversione in energia primaria
k_{em}	[kgCO ₂ /kWh]	Fattore di emissione per la CO ₂
$A_{pv,sm}$	[m ²]	Area del singolo modulo fotovoltaico, al netto del telaio
K_{pv}	[kW _p /m ²]	Fattore di potenza di picco
$W_{pv,sm}$	[kW _p]	Potenza di picco del singolo modulo
n_m	-	Numero complessivo di moduli del singolo generatore parziale
$W_{pv,gp}$	[kW _p]	Potenza di picco del singolo generatore parziale
f_{pv}	-	Fattore di efficienza
β	[°]	Angolo che il modulo forma con il piano orizzontale
γ	[°]	Angolo di azimuth del modulo: angolo formato dalla normale al piano del collettore e dal piano meridiano del luogo
E_{pv}	[kWh/m ²]	Irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico
N	-	Numero progressivo del giorno medio del mese
δ	°	Angolo di declinazione del sole
T, U, V, T_h, U_h	-	Funzioni intermedie di calcolo
ω_s	°	Angolo orario del tramonto astronomico
H_o	[MJ/m ²]	Irradiazione extra atmosferica orizzontale giornaliera

K_T	–	Indice di soleggiamento reale
ω_1'	°	Angolo orario del comparire del sole
ω_1''	°	Angolo orario dello scomparire del sole
ω_2'	°	Angolo orario del comparire del sole
ω_2''	°	Angolo orario dello scomparire del sole
$\bar{H}_{bh}$	[W/m ²]	Irradiazione giornaliera diretta sul piano orizzontale. Valore medio mensile.
G_o	[W/m ²]	Costante solare, pari a 1.367 W/m ² (valore più recente fornito dal Duffie Beckman 3a edizione 2006, aggiornato rispetto al precedente valore di 1.353 W/m ² di cui al UNI/TR 11328:2009, tratto quest'ultimo da UNI 8477-1:1983)
$\bar{H}_b$	[W/m ²]	Irradiazione giornaliera diretta sul piano dei moduli. Valore medio mensile.
$\bar{R}_b$	–	Rapporto tra irradiazione giornaliera diretta sul piano dei moduli e sul piano orizzontale. Valore medio mensile.
$\bar{R}$	–	Rapporto tra irradiazione giornaliera totale (diretta+diffusa+riflessa) sulla superficie dei moduli e sul piano orizzontale. Valore medio mensile.
$\bar{H}$	[MJ/m ²]	Irradiazione giornaliera totale (diretta+diffusa+riflessa) sulla superficie dei collettori. Valore medio mensile.
$E_{pv,gp}$	[kWh/m ²]	Irradiazione solare mensile incidente sul singolo generatore parziale dell'impianto fotovoltaico
$E_{el,pv,out,gp}$	[kWh]	Energia elettrica prodotta dal singolo generatore parziale
$E_{el,pv,out}$	[kWh]	Energia elettrica prodotta dall'intero impianto fotovoltaico, somma di quella prodotta dai singoli generatori parziali presenti
$Q_{el,del,qa}$	[kWh]	Energia elettrica fornita all'edificio, limitatamente alla quota abbattibile con la produzione fotovoltaica, secondo i vincoli previsti da UNI/TS 11300-4. In base a tali vincoli, essa coincide con la somma del fabbisogno di energia elettrica di pompe di calore per climatizzazione e produzione di a.c.s., degli ausiliari degli impianti di produzione di energia dell'edificio e di illuminazione dell'edificio, nel caso di destinazioni non residenziali.
$Q_{el,exp} \equiv Q_{en,el,prod,gn,i}$	[kWh]	Energia elettrica autoprodotta ed utilizzata dall'edificio, secondo i vincoli previsti da UNI/TS 11300-4. Per valutazioni A1 ed A2, essa non può essere superiore alla $Q_{el,del,qa}$. Essa coincide con la $Q_{en,el,prod,gn,i}$ riportata nella relazione tecnica della centrale cui appartiene il generatore fotovoltaico, dove gn,i è il pedice che lo identifica.
Q_{sol}	[kWh]	Energia solare immessa nel sottosistema di generazione solare fotovoltaico
Q_p	[kWh]	Fabbisogno di energia primaria
η	–	Rendimento dell'impianto fotovoltaico
M_{net,CO_2}	[kg]	Produzione netta di CO ₂

2.2 Legenda pedici vettori energetici

PEDICE	DENOMINAZIONE VETTORE ENERGETICO
en,sol	Energia solare
en,el	Energia elettrica

3 Dati di progetto

3.1 Località (UNI 10349)

DATI GEOGRAFICI				
		Alt.	Lat.	Grad
		[m.s.l.]	[Deg]	[°C/m]
Comune	Palau	5,00	41,18	0,005
Località di riferimento				

DATI CLIMATICI ED AMBIENTALI													
DESCRIZIONE	U.M	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Temperatura media mensile Ta	[°C]	9,82	10,02	11,22	14,32	17,82	22,72	25,62	25,42	21,02	19,32	13,12	10,32
Irradiazione media mensile H	[MJ/m²]	5,40	7,80	12,70	15,50	19,10	22,80	24,20	19,10	14,50	10,40	5,80	4,70
Riflettività mensile del terreno circostante	–	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

4 Dati dell'impianto

4.1 Dati generali

Numero di generatori parziali:	[–]	3
Potenza di picco complessiva $W_{pv,tot}$	[kW _p]	45,14

4.2 Dati dei vettori energetici

Vettore energetico	f_p	k_{em}
	–	[kgCO ₂ /kWh]
Energia elettrica	2,1740	0,4332
Energia solare		

4.3 Dati dei singoli generatori parziali

4.3.1 Generatore parziale 1

DATI DEI MODULI FOTOVOLTAICI											
Costruttore	Modello	Tipo di modulo	A _{pv,sm}	K _{pv}	W _{pv,sm}	Tipo di integrazione	f _{pv}	η _m	W _{pv,gp}	β ^(*)	γ ^(**)
-	-	-	[m ²]	[kW _p /m ²]	[kW _p]	-	-	-	[kW _p]	[°]	[°]
	LG NeON 2 o simile	Pannello monocristallino	1,73	0,150	0,37	Moduli moderatamente ventilati	0,8	40	14,8		-16,0

(*) $\beta > 0$ per inclinazione dal piano orizzontale verso l'alto - per $\beta = 0^\circ \rightarrow$ collettore sul piano orizzontale

(**) per $\gamma = -90 \rightarrow$ collettore verso E; per $\gamma = 90 \rightarrow$ collettore verso O

5 Calcolo energetico

5.1 Generatore parziale 1

5.1.1 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dal singolo generatore parziale

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DAL SINGOLO GP [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
E _{el,pv,out,gp}	516,2	673,4	1.213,9	1.433,8	1.825,6	2.109,0	2.313,1	1.825,6	1.341,3	994,1	536,5	449,2	15.232

4.3.1 Generatore parziale Generatore parziale 2

DATI DEI MODULI FOTOVOLTAICI									
Modello	Tipo di modulo		A _{pv,sm}	K _{pv}	W _{pv,sm}	Tipo di integrazione	f _{pv}	n _m	W _{pv,gp}
–	–		[m ²]	[kW _p /m ²]	[kW _p]	–	–	–	[kW _p]
LG NeON 2 o simile	Pannello monocristallino		1,73	0,150	0,37	Moduli moderatamente ventilati	0,8	40	14,8

(*) $\beta > 0$ per inclinazione dal piano orizzontale verso l'alto - per $\beta = 0^\circ \rightarrow$ collettore sul piano orizzontale

(**) per $\gamma = -90 \rightarrow$ collettore verso E; per $\gamma = 90 \rightarrow$ collettore verso O

6 Calcolo energetico

5.1 Generatore parziale 2

5.1.1 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dal singolo generatore parziale

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DAL SINGOLO GP [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
E _{el,pv,out,gp}	516,2	673,4	1.213,9	1.433,8	1.825,6	2.109,0	2.313,1	1.825,6	1.341,3	994,1	536,5	449,2	15.232

4.3.1 Generatore parziale 3

DATI DEI MODULI FOTOVOLTAICI									
Modello	Tipo di modulo		A _{pv,sm}	K _{pv}	W _{pv,sm}	Tipo di integrazione	f _{pv}	n _m	W _{pv,gp}
–	–		[m²]	[kW _p /m²]	[kW _p]	–	–	–	[kW _p]
LG NeON 2 osimile	Pannello monocristallino		1,73	0,150	0,37	Moduli moderatamente ventilati	0,8	42	15,5

(*) $\beta > 0$ per inclinazione dal piano orizzontale verso l'alto - per $\beta = 0^\circ \rightarrow$ collettore sul piano orizzontale

(**) per $\gamma = -90 \rightarrow$ collettore verso E; per $\gamma = 90 \rightarrow$ collettore verso O

7 Calcolo energetico

5.1 Generatore parziale 3

5.1.1 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dal singolo generatore parziale

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DAL SINGOLO GP [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
E _{el,pv,out,gp}	542,0	707,1	1.274,6	1.505,4	1.916,9	2.214,4	2.428,8	1.916,9	1.408,3	1.043,8	563,3	471,7	15.993

7.2 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dall'intero impianto fotovoltaico

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'IMPIANTO [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
E _{el,pv,out}	1.574,3	2.053,9	3.702,4	4.372,9	5.568,2	6.432,5	7.055,0	5.568,2	4.090,8	3.031,9	1.636,3	1.370,2	46.457

7.3 Calcolo dell'energia elettrica prodotta dall'intero impianto fotovoltaico ed utilizzata dall'edificio

ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DALL'IMPIANTO ED UTILIZZATA DALL'EDIFICIO [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q _{el,del,qa}													
Q _{el,exp} =	1.574,3	2.053,9	3.702,4	2.937,1	3.024,9	2.929,1	3.022,1	3.030,5	2.960,3	3.031,9	1.636,3	1.370,2	31.273
Q _{en,el,prod,gn,i}													

7.4 Fabbisogni di energia primaria

5.4.1 Fabbisogni di energia primaria per vettore energetico e totale

ENERGIA ELETTRICA [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q _{p,en,el}	3.422,4	4.465,1	8.049,1	9.506,8	12.105,3	13.984,1	15.337,6	12.105,3	8.893,4	6.591,4	3.557,4	2.978,8	100.997

ENERGIA SOLARE [kwh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q_{sol}	9.814,3	12.804,3	23.081,8	27.261,9	34.713,5	40.101,4	43.982,6	34.713,5	25.503,1	18.901,6	10.201,2	8.542,1	289.621
$Q_{p,en,sol}$													

ENERGIA TOTALE [kWh]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Q_p	3.069,8	4.005,1	7.219,7	8.527,2	10.858,0	12.543,3	13.757,3	10.858,0	7.977,1	5.912,2	3.190,8	2.671,9	90.590

7.5 Rendimento dell'impianto fotovoltaico

RENDIMENTO DELL'IMPIANTO [-]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
η	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

7.6 Emissioni di CO₂

5.6.1 Emissioni di CO₂ per vettore energetico e totale

ENERGIA ELETTRICA [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
$M_{netCO_2,en,el}$	682	890	1.604	1.894	2.412	2.787	3.056	2.412	1.772	1.313	709	594	20.125

ENERGIA SOLARE [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
$M_{netCO_2,en,sol}$													

ENERGIA TOTALE [kg]													
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
M _{net} CO ₂	-682	-890	- 1.604	- 1.894	- 2.412	- 2.787	- 3.056	- 2.412	- 1.772	- 1.313	-709	-594	- 20.12 5

7.7 Dati mensili ed annuali del generatore

Mese	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico [kWh]	1.574,3	2.053,9	3.702,4	4.372,9	5.568,2	6.432,5	7.055,0	5.568,2	4.090,8	3.031,9	1.636,3	1.370,2	46.457
Energia elettrica fornita per ausiliari [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energia elettrica utilizzata dall'edificio [kWh]	8.847,6	7.545,5	6.995,5	2.937,1	3.024,9	2.929,1	3.022,1	3.030,5	2.960,3	3.095,2	3.049,2	8.554,1	55.991
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico ed utilizzata dall'edificio [kWh]	1.574,3	2.053,9	3.702,4	2.937,1	3.024,9	2.929,1	3.022,1	3.030,5	2.960,3	3.031,9	1.636,3	1.370,2	31.272,8
Energia elettrica in eccesso rispetto ai fabbisogni [kWh]				1.435,9	2.543,4	3.503,4	4.032,9	2.537,7	1.130,6				15.183,8
Rendimento [-] (*)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Emissioni di CO ₂ [kg CO ₂]	-682,0	-889,7	-1.603,9	-1.894,4	-2.412,2	-2.786,5	-3.056,2	-2.412,2	-1.772,1	-1.313,4	-708,9	-593,6	-20.125
Quota rinnovabili [kWh]	1.574,3	2.053,9	3.702,4	2.937,1	3.024,9	2.929,1	3.022,1	3.030,5	2.960,3	3.031,9	1.636,3	1.370,2	31.272,8

(*) Per il generatore fotovoltaico ci si riferisce al rendimento elettrico complessivo dell'impianto

Mese	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Anno
Progetto fotovoltaico: Nuovo impianto fotovoltaico													
Q _{El,pv} [kWh]	1.574,3	2.053,9	3.702,4	4.372,9	5.568,2	6.432,5	7.055,0	5.568,2	4.090,8	3.031,9	1.636,3	1.370,2	46.457

Centrale Termica: Nuova centrale termica													
Servizio: Riscaldamento	T _{el,pv} [-]	0,619	0,605	0,538								0,605	
	Q _{el} [kWh]	5.677,30	4.735,66	3.937,28								5.365,38	19.715,60
	Q _{el,uscd} [kWh]	975,00	1.241,62	1.992,93								828,51	5.038,06
	Q _{el,dcl,gross} [kWh]	4.702,30	3.494,04	1.944,35								4.536,87	14.677,60
	Q _{el,surplus} [kWh]												
Servizio: Raffrescamento	Q _{el,rcl,an} [kWh]												
	Q _{el,expan} [kWh]												
	T _{el,pv} [-]												
	Q _{el} [kWh]												
	Q _{el,uscd} [kWh]												
Servizio: Acqua calda sanitaria	Q _{el,dcl,gross} [kWh]												
	Q _{el,surplus} [kWh]												
	Q _{el,rcl,an} [kWh]												
	Q _{el,expan} [kWh]												
	T _{el,pv} [-]	0,035	0,037	0,044	0,095	0,095	0,095	0,095	0,094	0,093	0,092	0,036	
Servizio: Ventilazione meccanica	Q _{el} [kWh]												
	Q _{el,uscd} [kWh]												
	Q _{el,dcl,gross} [kWh]												
	Q _{el,surplus} [kWh]												
	Q _{el,rcl,an} [kWh]												
Servizio: Illuminazione	Q _{el,expan} [kWh]												
	T _{el,pv} [-]	0,333	0,345	0,402	0,870	0,870	0,870	0,870	0,871	0,872	0,874	0,346	
	Q _{el} [kWh]	3.053,49	2.704,31	2.941,42	2.824,03	2.908,06	2.816,03	2.913,73	2.847,22	2.978,45	2.936,16	3.071,97	34.900,20
	Q _{el,uscd} [kWh]												
	Q _{el,dcl,gross} [kWh]												
Servizio:	Q _{el,surplus} [kWh]												
	Q _{el,rcl,an} [kWh]												
	Q _{el,expan} [kWh]												

LEGENDA

DEFINIZIONE	SIMBOLO	UNITA' DI MISURA
FATTORE DI RIPARTIZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA PER OGNI SERVIZIO DELLE CENTRALI TERMICHE SERVITE	$r_{el,pv}$	[-]
ENERGIA ELETTRICA COMPLESSIVAMENTE ASSORBITA DALLA CENTRALE TERMICA PER LO SPECIFICO SERVIZIO	Q_{el}	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DA FOTOVOLTAICO ED UTILIZZATA PER LO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,used}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA IMPORTATA DALLA RETE ELETTRICA ED UTILIZZATA PER LO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,del,gross}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA IN ECCESSO E CONSEGNATA ALLA RETE ELETTRICA RIFERITA ALLO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,surplus}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA IN ECCESSO E CONSEGNATA ALLA RETE ELETTRICA E REIMPORTATA RIFERITA ALLO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,del,an}$	[kWh]
ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA IN ECCESSO E NON REIMPORTATA RIFERITA ALLO SPECIFICO SERVIZIO DELLA CENTRALE TERMICA	$Q_{el,exp,an}$	[kWh]